



# **Untersuchung der bodenschonenden Wirkung unterschiedlicher Fahrwerkslösungen**

Dr. R. Paul  
K. Marschall  
D. Franke

Jena, Januar 2012

Bodenschonende Fahrwerkslösungen sind wegen der hohen Fahrzeugmassen im Interesse des Erhaltes der Bodenfruchtbarkeit, insbesondere des Schutzes vor Schadverdichtungen erforderlich.

Es existieren vor allem bei Traktoren verschiedene bewährte bodenschonende Fahrwerkslösungen. Breit- oder Zwillingsbereifung und Gleisbänder zielen darauf ab, die Achslast auf eine möglichst große Aufstandsfläche auf den Boden abzustützen. Arbeitswirtschaftlich zeichnen sich Gleisbänder hierbei durch eine besonders hohe Zugleistung aus. Gegenüber einfachen Standardreifen haben bodenschonende Fahrwerke jedoch auch bekannte Nachteile: höhere Anschaffungskosten, verändertes Fahrverhalten, eingeschränkte Straßentauglichkeit und sie sind für Pflegearbeiten nur bedingt oder gar nicht einsetzbar.

Eine andere Lösung besteht darin, die Fahrzeugmasse und die der Zusatzbelastungen (Aufbaugeräte, Belastung durch Zugwiderstand) auf mehrere Achsen zu verteilen, um die Achslasten zu senken. Unterschiedliche Beaufschlagung der Achsen mit der Leermasse sollen unter Last eine gleichmäßige Belastung aller Achsen bewirken. Vorteile dieses Konzeptes sind die problemlose Fahrt des Traktors in Leitspuren (2,25m) bei Standardbereifung. Bei nicht leitspurbundenen Arbeiten kann eine größere Reifenbreite verwendet werden, um den Bodendruck noch weiter zu senken. Die Teilnahme am Strassenverkehr ist ohne Einschränkungen möglich.

Dieses Konzept bedingt jedoch die häufigere Überfahung der gleichen Spur durch vier Achsen. Damit kann gegenüber einer ein- oder zweimaligen Überfahung eine stärkere Belastung des Bodens erzeugt werden.

Die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft hat in einem Feldversuch die Bodendruckwirkung eines Raupentraktors im Vergleich mit einem leistungsähnlichen vierachsigen Traktor untersucht.

Dazu wurde anhand von bodenphysikalischen Messungen der Bodenzustand vor und nach der Überfahung gemessen und die Bodenbewegung dokumentiert.

## **Technik und Boden**

Geprüft wurden zwei Fahrwerkslösungen bei Traktoren, eine mit vier Gleisbändern (Aufstandsfläche gemessen 700\*21000 mm je Band) und eine mit vier Achsen und Reifen der Dimension 600/70 R 30 mit 0,8 bar Reifeninnendruck.

Die Gesamtmasse des Gleisbandfahrzeuges betrug 23 t, davon war die vordere Achse mit 13 t, die hintere mit 10 t belastet.

Das vierachsige Fahrzeug wog 20 t, die zwei vorderen Achsen waren mit je 6 t, die beiden hinteren mit je 4 t belastet.

Beide Fahrzeuge zogen einen arbeitenden Grubber der Arbeitsbreite 7 m mit der Arbeitstiefe 15 cm. Die Achsbelastung aus dem Zugwiderstand des Grubbers wurde mit 5,8 t berechnet.

Der Vergleich fand im Thüringer Becken auf einer Parabraunerde aus Löß der Bodenart stark toniger Schluff (Ut4) statt.

Die Fläche wurde dauerhaft pfluglos bearbeitet und war aktuell bis etwa 8 cm Tiefe mit dem Grubber gelockert.

Der Boden war nach visueller Einschätzung befahr- und bearbeitbar. Die anschließend gemessene Bodenfeuchte betrug an der Oberfläche 80%, ab etwa 10 cm Tiefe 95% der Feldkapazität (Tab. 2).

Vor dem Vergleich wurden an der Messfläche Profilgruben ausgehoben, die bodenphysikalischen Eigenschaften Trockenrohdichte, Luftkapazität und gesättigte Wasserleitfähigkeit in vier Tiefen bestimmt. Gleichzeitig wurden Nägel in einem Gittermuster in die ungestörte Profilwand in Fahrtrichtung in den Boden eingebracht (Abb. 2 und 3). Sie sollen durch mögliche Lageveränderung die Bewegung des Bodens visuell dokumentieren. Die Profilgruben wurden für die anschließende Überfahrt wieder verfüllt.

Die Traktoren fuhren mit arbeitendem Grubber mit dem Fahrwerk vollständig über die Messfläche, jedoch nicht mit den Grubberwerkzeugen.

Nach der Überfahrt wurden die Profilgruben wieder ausgehoben und der Verlauf der Nagelreihen mit weißen Fäden sichtbar gemacht (Abb. 2 und 3).

Ca. 20 cm weiter in Fahrtrichtung erfolgte die erneute Feststellung der bodenphysikalischen Eigenschaften in den gleichen Schichten wie vor der Überföhrung (Abb.1).

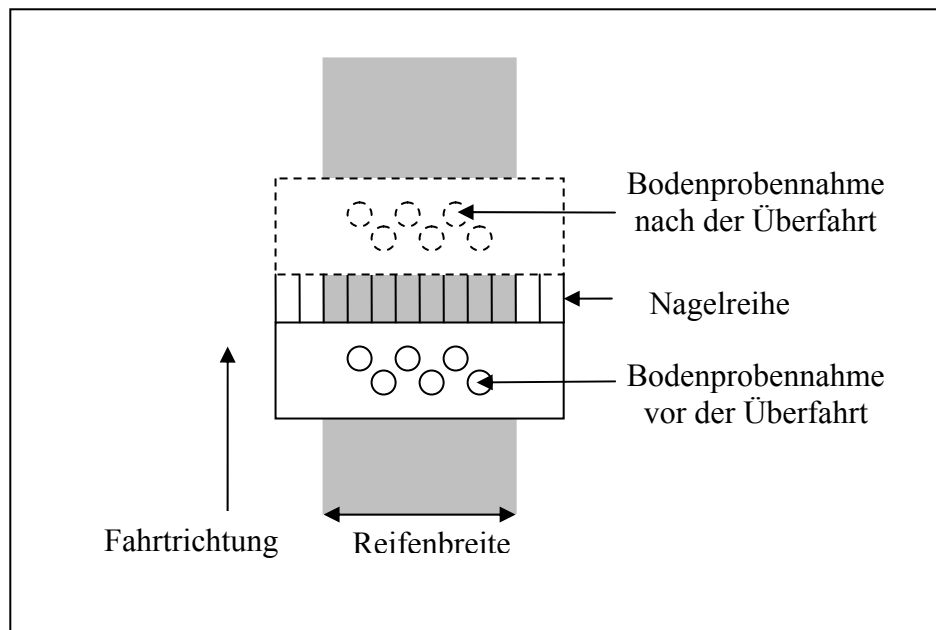


Abb. 1. Schema der Bodenprobennahme vor und nach der Überföhrung und Lage der Nagelreihe (von oben gesehen)

### Welche Wirkung auf den Boden war zu erwarten?

Unabhängig von den Feldmessungen wurde die zu erwartende Verformungswirkung der Fahrzeuge mit Hilfe des Programms „Bodenschutzplaners“ (unter [www.tll.de/ainfo/](http://www.tll.de/ainfo/) abrufbar) der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft ermittelt. Das Programm berechnet anhand der physikalischen Bodeneigenschaften die Tragfähigkeit des Bodens und anhand der Maschinen- und Bodeneigenschaften den mittleren Bodendruck der Fahrwerke. Die sich daraus ergebende Verdichtungswahrscheinlichkeit des Bodens ist in Tabelle 1 für den Raupentraktor und den vierachsigen Traktor dargestellt.

Tabelle 1: Berechneter Bodendruck und Vorbelastung und daraus abgeleitete Verdichtungswahrscheinlichkeit des Bodens

Bodentiefe in cm	berechneter Bodendruck in kPa (nach Paul 2004)	berechnete Vorbelastung (Tragfähigkeit) des Bodens in kPa (nach Paul 2004)	Verdichtung
4 Gleisbänder:			
2-8	55	37	Wahrscheinlich
8-14	55	62 nicht	wahrscheinlich
14-20	54	101	nicht wahrscheinlich
25-31	53	114	nicht wahrscheinlich
4 Achsen:			
2-8	96	55 Wahrscheinlich	
8-14	90	78 Wahrscheinlich	
14-20	85	107	nicht wahrscheinlich
25-31	80	125	nicht wahrscheinlich

Danach ist eine Verdichtung des Bodens nur in der oberflächennahen Krume wahrscheinlich. Der Traktor mit vier Gleisbändern dürfte nur bis 8 cm Tiefe verdichtend wirken, während mit dem 4-Achs-Fahrwerk noch geringe Verdichtungen bis 14 cm zu erwarten sind (Tab. 1).

### **Ergebnisse der Feldmessung Sichtbare Veränderungen**

Die Überfahrt verursachte Spuren, die bei beiden Traktoren mit 6 cm Tiefe gleichermaßen flach waren. Dagegen zeigen die nach unten verschobenen Nagelreihen wesentlich tiefer reichende Bodenbewegungen an. Beim Traktor mit vier Gleisbändern (Abb. 2) sind Verschiebungen der Nagelreihen in 5 und 10 cm zu erkennen. Am Spurrand wird der Boden in Richtung Oberfläche verworfen, innerhalb der Spur wird er in die Tiefe verlagert. Die Tiefe der Bodenbewegungen ist aus der Spurtiefe nicht zu erkennen.

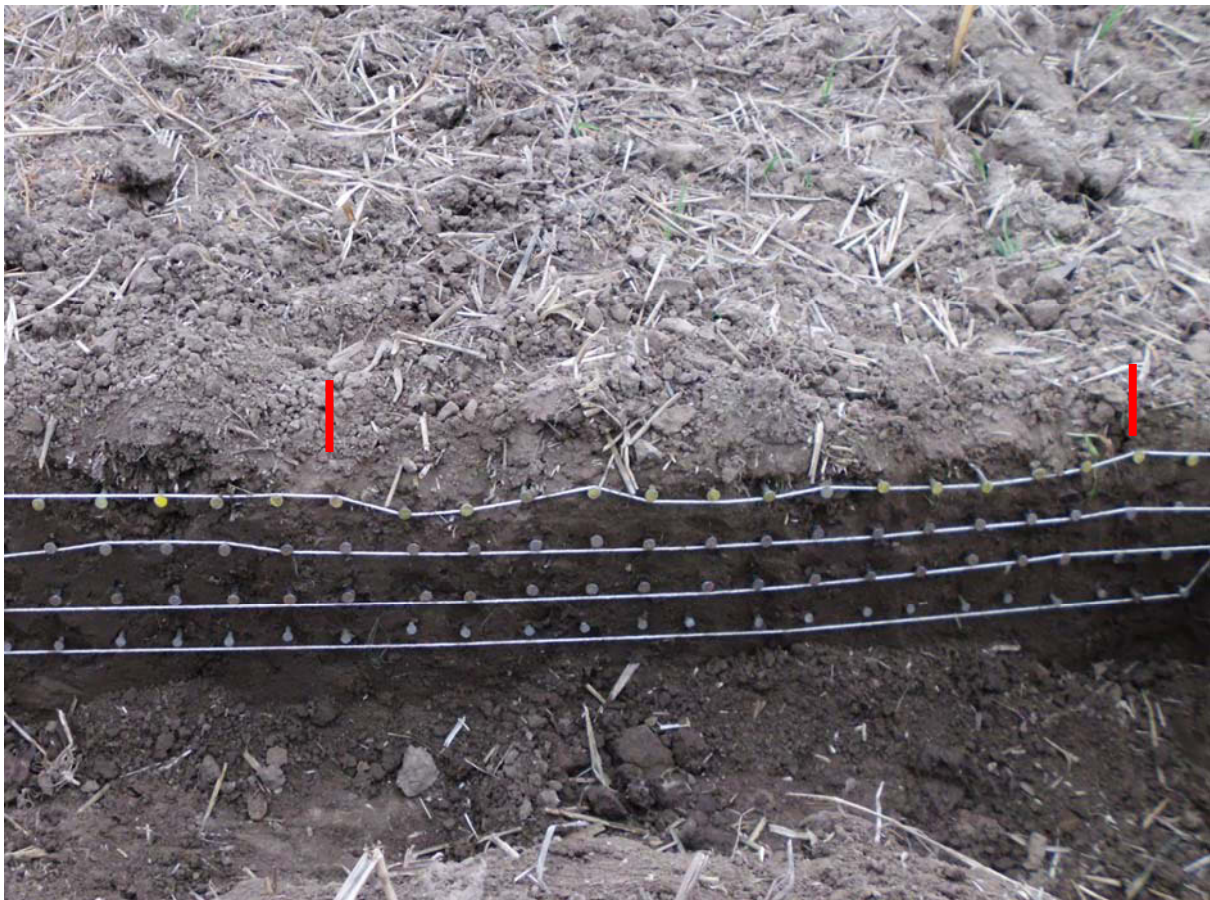


Abb. 2: Verformung des Bodens nach Überfahrt mit einem Traktor mit vier Gleisbändern (Nagelreihen von oben in 5 cm, in 10 cm, in 15 cm und 20 cm Tiefe)

Beim vierachsigen Traktor (Abb.3) fällt ein intensiverer Aufwurf an den Spurrändern auf. Die Tiefe der Bodenverlagerung ist ebenfalls bis zur 10 cm-Linie (zweite Nagelreihe von oben) erkennbar (Abb. 3). Die oberste Nagelreihe war etwas entgegen der Fahrtrichtung aus dem Boden verschoben worden, was sehr wahrscheinlich auf den Reifenschlupf zurückzuführen ist. Auch hier gibt die Spurtiefe keinen Hinweis auf die Tiefe der Bodenverlagerung.





Abb. 3: Verformung des Bodens nach Überfahrt mit einem vierachsigen Traktor (Nagelreihen von oben in 5 cm, in 10 cm, in 15 cm und 20 cm Tiefe)

### **Messergebnisse der Wirkung des Traktors mit vier Gleisbändern auf den Boden**

Die Überfahrt hat eine signifikante Zunahme der Trockenrohdichte beim Fahrzeug mit vier Gleisbändern in der obersten und der folgenden Meßtiefe bis 14 cm erzeugt (Abb. 4). Die Ursache des Dichteanstieges ist die Reduzierung des Grobporenanteils = Luftkapazität (Abb. 5, andere Porengrößenanteile hier nicht dargestellt). Erheblich ist der Rückgang der Wasserleitfähigkeit von extrem hohen Werten auf niedrige. Die Wasserleitfähigkeit bleibt aber für die Gewährleistung der Funktionalität des Bodens in der obersten Schicht bis 8 cm noch ausreichend. In der folgenden Schicht in 8-14 cm Tiefe ist die Wasserleitfähigkeit auf ein sehr niedriges, mit einem  $k_f$ -Wert  $< 10 \text{ cm d}^{-1}$  auch funktional und zureichendes Niveau abgesunken (Abb. 6).

In den tieferen Schichten traten keine signifikanten Veränderungen der Dichte und der Luftkapazität ein (Tab. 2). Trotzdem ist noch eine Wirkung des Bodendruckes in der Schicht 14-20 cm vorhanden. In dieser Schicht ist die Durchlässigkeit stark zurückgegangen. Ursache sind sehr wahrscheinlich noch in dieser Tiefe wirksame Horizontal- und Scherspannungen, die sich vorrangig auf die Porenkontinuität und weniger komprimierend auswirken. Erst unterhalb 20 cm Tiefe ist keine signifikante Wirkung des Bodendruckes mehr nachweisbar.

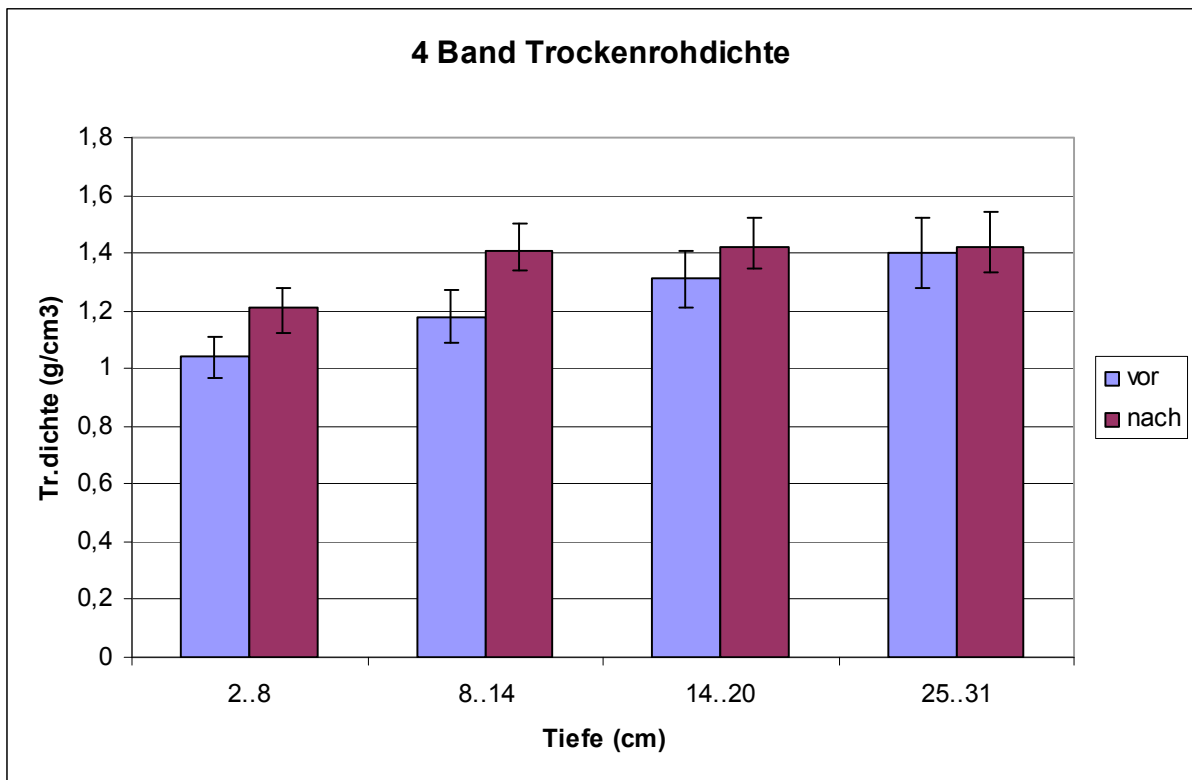


Abb.4: Entwicklung der Trockenrohdichte im Profil vor und nach Überfahrt mit dem Traktor mit vier Gleisbändern

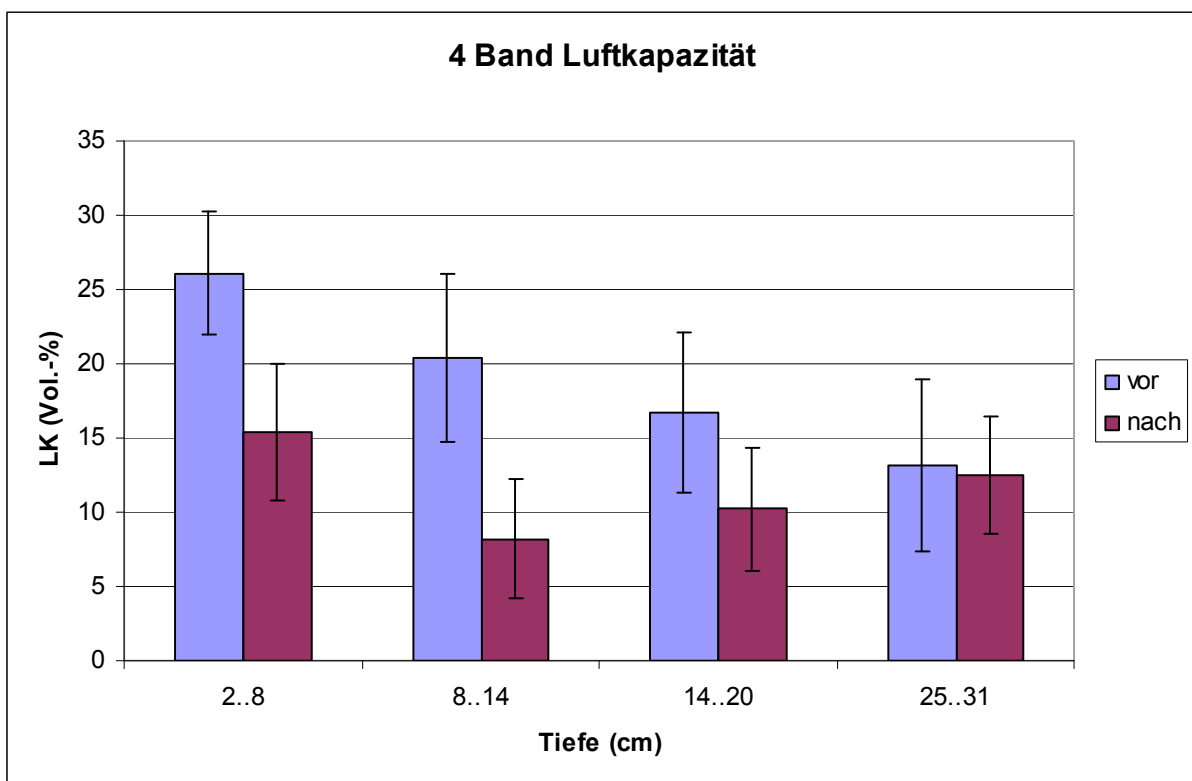


Abb.5: Entwicklung der Luftkapazität im Profil vor und nach Überfahrt mit dem Fahrzeug mit vier Gleisbändern

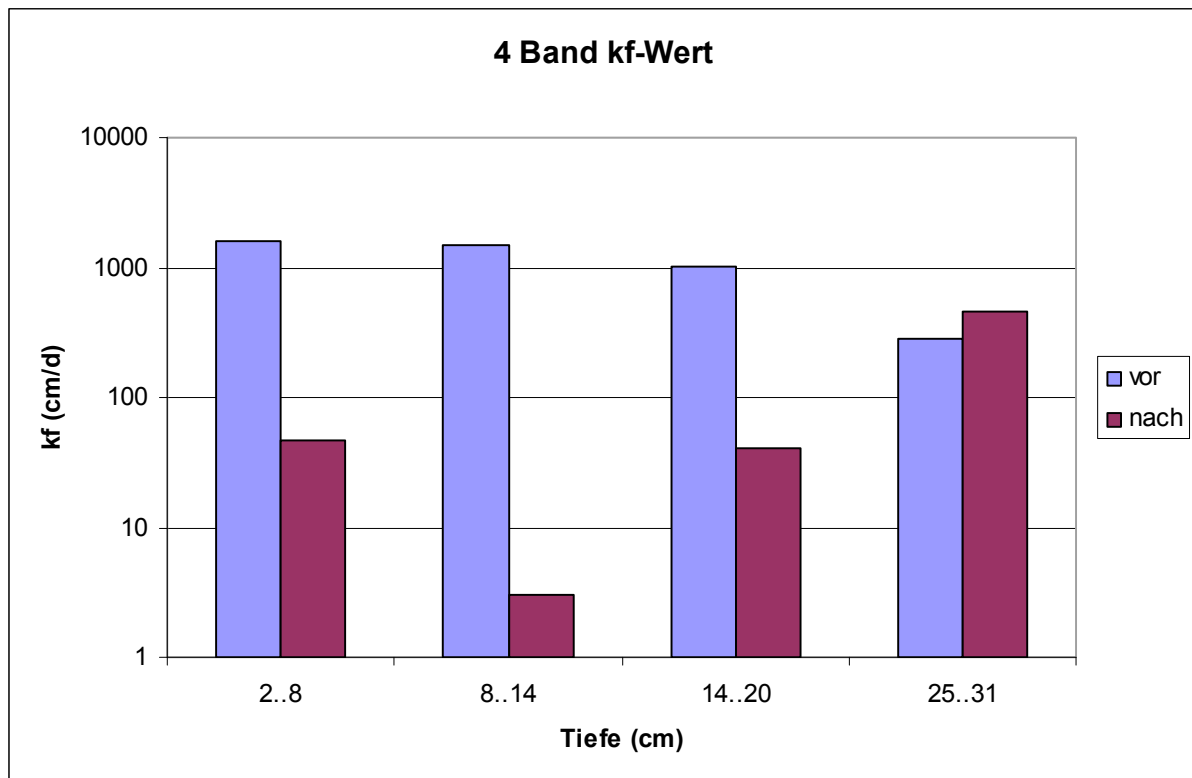


Abb. 6: Entwicklung der Wasserleitfähigkeit im Profil vor und nach Überfahrt mit dem Fahrzeug mit vier Gleisbändern

### Messergebnisse der Wirkung des Traktors mit vier Achsen auf den Boden

Die Trockenrohdichte des Bodens stieg durch die Befahrung mit dem vierachsigen Traktor bis 14 cm Bodentiefe an (Abb.7). In der obersten Bodenschicht (2-8 cm) ist jedoch durch eine Wiederauflöckerung des Bodens durch den Schlupf der Reifenstollen keine gesicherte Zunahme der Trockenrohdichte messbar. Die Luftkapazität (Abb. 8) und damit das Grobporenvolumen hat sich sogar erhöht. Dagegen hat die Wasserleitfähigkeit (kf-Wert) erheblich abgenommen (Abb. 9).

Die Ergebnisse zeigen eine deutliche knetende und scherende Wirkung des Druckes auf die Bodenoberfläche an, die auf Schlupf zurückzuführen ist. Sie hat die Durchgängigkeit der sehr groben Poren unterbrochen, insgesamt deren Volumenanteil (Luftkapazität) aber sogar erhöht.

Das resultierende Gefüge ist gerade noch ausreichend durchlässig.

In der folgenden Tiefe 8-14 cm sinkt die Luftkapazität stark ab (Abb. 8). Sie entspricht dem Niveau nach Überführung des Bodens mit Gleisbändern, obgleich hier das Ausgangsniveau der Luftkapazität im Vergleich zum Boden unter den Gleisbändern bereits niedriger war (Tab.2). Die Differenz ist folglich geringer und schwächer gesichert.

Die zuvor hohe Wasserleitfähigkeit des Bodens in dieser Schicht sinkt infolge der hier noch wirksamen knetenden und scherenden Druckwirkung (Zerstörung von Röhren und Zunahme der Verwickeltheit) bis zur Undurchlässigkeit ab. Unterhalb 14 cm Tiefe verändern sich die Trockenrohdichte (Abb. 7) und die Luftkapazität (Abb. 8) nicht signifikant. Die scherende Wirkung ist aber noch vorhanden und wirkt sich vermindert, aber nicht schädigend auf die Wasserleitfähigkeit aus (Abb. 9). Die tiefere Schicht unterhalb 20 cm ist vom Druck des Fahrzeugs sehr wahrscheinlich unbeeinflusst. Die Änderung der Trockenrohdichte, Luftkapazität und Wasserleitfähigkeit sind nicht signifikant.

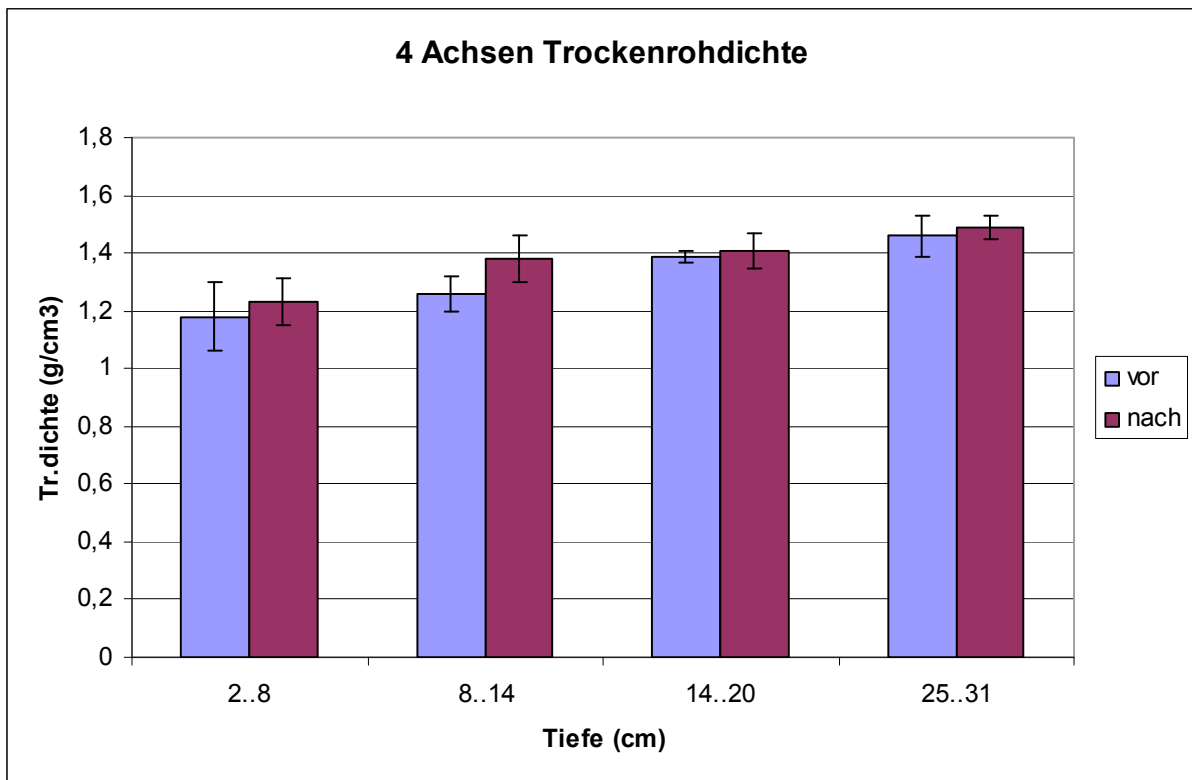


Abb.7: Entwicklung der Trockenrohdichte im Profil vor und nach Überfahrt mit dem vierachsigen Traktor

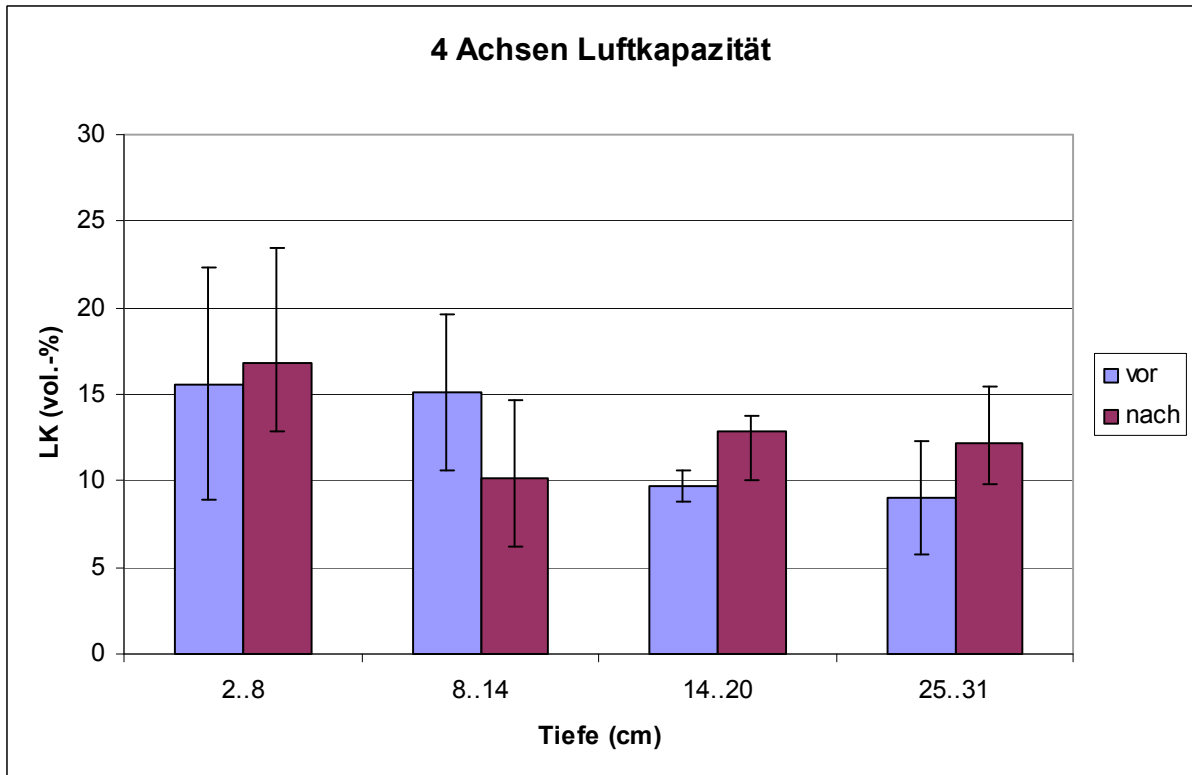


Abb.8: Entwicklung der Luftkapazität im Profil vor und nach Überfahrt mit dem vierachsigen Traktor



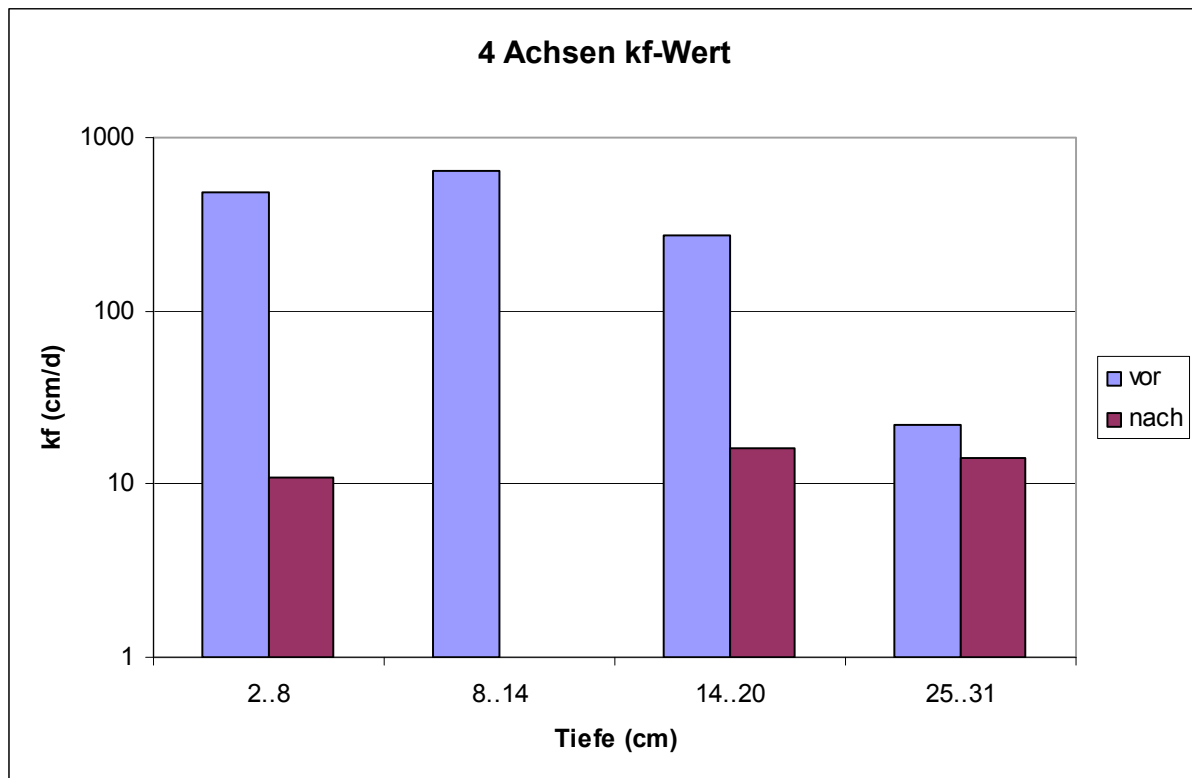


Abb.9: Entwicklung der Wasserleitfähigkeit im Profil vor und nach Überfahrt vierachsiger Traktor

### Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die vergleichenden Untersuchungen zur bodenschonenden Wirkung unterschiedlicher Fahrwerkskonzepte - Gleisband oder mehr Achsen - zweier leistungsstarker Traktoren (602 PS und 598 PS) zeigten unter den genannten Einsatzbedingungen folgende Ergebnisse:

Es traten deutliche Veränderungen der Trockenrohdichte, der Luftkapazität und Wasserleitfähigkeit der oberen Krume bis 14 cm ein, die zu Einschränkungen der Funktionalität bis zur Schadverdichtung (sehr geringe Leitfähigkeit) des Bodens in dieser Tiefe führen. Dabei gleichen sich die Wirkungen der zwei untersuchten Traktoren.

Unterhalb 14 cm Tiefe sind beim Bandfahrzeug nicht signifikante Grobporenverluste eingetreten, beim Radfahrzeug keine. Die Abnahme der Wasserleitfähigkeit lässt aber auf noch in dieser Tiefe wirksame Scherkräfte schließen. Diese verlagern den Boden ohne Volumenänderung, dabei zerstören sie die Kontinuität vor allem der leistungsstarken vertikalen Grobporen.

Diese Ergebnisse machen deutlich, dass durch eine rein visuelle Einschätzung der Befahrungswirkung anhand von Spurtiefen oder Verschiebung von Nagelreihen die gefügeverändernde Wirkung von auftretenden Scherkräften im Boden nicht berücksichtigt bzw. unterschätzt wird.

Dass in dieser Tiefe eine derartige schernde Verformung eintritt, dürfte an der bereits in den unteren Krumenschichten hohen Bodenfeuchte nahe der Feldkapazität liegen. Dieser Feuchtezustand konnte bei der Beurteilung der Befahrbarkeit durch Betrachtung der Bodenoberfläche nicht erkannt werden. Die ehemalige Pflugsohle in 25-31 cm Tiefe blieb unverändert. Beide Fahrwerkslösungen sind somit hinsichtlich des Unterbodenschutzes bodenschonend.

Der bodenschonende Effekt des Gleisbandes resultiert aus der großen Aufstandsfläche. Die im Stand auf dem Acker (nachgiebiger Untergrund) gemessene Aufstandsfläche und der dadurch berechnete, geringe Bodendruck führte jedoch zu einer Unterschätzung der bodenverdichtenden Wirkung des Traktors in 8-14 cm Tiefe. Der Grund kann darin liegen, dass die Bandfläche in Fahrt nicht gleichmäßig aufliegt, d.h. Druckspitzen entstehen können, wie auch Untersuchungen von Stahl, Marschall u.a. (2005) nachgewiesen haben.

Beim Vierachstraktor wird die Bodenschonung mit der gleichmäßigen Aufteilung der Fahrzeugmasse einschließlich Zusatzmassen auf acht Räder erreicht. Damit werden die Radlast und damit der Bodendruck so weit gesenkt, dass selbst bei Verwendung von nur 600 mm breiten Reifen und trotz häufigerer Überrollung des Bodens ein vergleichbares Ergebnis gegenüber dem Bandfahrwerk erreicht wird.

## 5. Literatur

PAUL, R. (2004): Verfahren zur Ermittlung von Schadverdichtungsrisiken auf ackerbaulich genutzten Böden. [www.jena.tll.de/ainfo/](http://www.jena.tll.de/ainfo/)

STAHL, H.; MARSCHALL, K. & GÖTZE, H. (2005): Bodendruck und Bodenbelastbarkeit.

Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 15, 10. Jahrgang, 127 S.